

⑤

Int. Cl. 3:

**G 21 K 1/02**

⑯ **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

H 01 L 21/70

H 01 L 21/32

**DEUTSCHES**



**PATENTAMT**

**DE 30 01 059 A 1**

⑪

# **Offenlegungsschrift 30 01 059**

⑫

Aktenzeichen:

P 30 01 059.4-33

⑬

Anmeldetag:

12. 1. 80

⑭

Offenlegungstag:

26. 2. 81

⑳

Unionspriorität:

㉔ ㉕ ㉖

13. 8. 79 V.St.v.Amerika 66140

㉙

Bezeichnung:

Röntgenstrahlenlithographiesystem mit einer Collimations-Optik

㉚

Anmelder:

American Science & Engineering, Inc., Cambridge, Mass. (V.St.A.)

㉛

Vertreter:

Charrier, R., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 8900 Augsburg

㉜

Erfinder:

Silk, John K., Wellesley; Krieger, Allen S., Lexington;  
Huang, Eugene W.C., Lynnfield; Mass. (V.St.A.)

Prüfungsantrag gem. § 28 b PatG ist gestellt

**DE 30 01 059 A 1**

3001059

Dipl.-Ing.  
**Rolf Charrier**  
Patentanwalt

Rehlingenstraße 8 · Postfach 260  
D-8900 Augsburg 31  
Telefon 08 21/3 60 15 + 3 60 16  
Telex 53 3 275  
Postscheckkonto: München Nr. 1547 89-801  
8067/02/ K/Gr

Anm.: American Science and Engineerin.  
Augsburg, 10. Januar 1980

### Patentansprüche

1. Röntgenstrahlenlithographiesystem zur Erzeugung von integrierten Schaltungen, bei dem ein Plättchen mit einem fotoempfindlichen Material bedeckt und eine Maske nahe dem Plättchen angeordnet ist, welche die einzelnen Schaltungsmuster trägt, die mittels weicher (langwelliger) Röntgenstrahlen auf das Plättchen gestrahlt (projiziert) werden, wodurch die Maskenmuster abgebildet werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Röntgenstrahlen von einer Bestrahlungsvorrichtung abgegeben werden, die ein Bündel von an der Maske praktisch collimierten oder parallelisierten Röntgenstrahlen erzeugt, daß die Bestrahlungsvorrichtung aus einer in Abstand von der Maske angeordneten und eine Vielzahl von Eingangsbündeln von Röntgenstrahlen aussendenden Röntgenstrahlenquelle und aus Vorrichtungen zur Collimation der genannten Eingangs-Röntgenstrahlenbündel besteht, welche eine Anordnung von zwischen der Quelle und der Maske angeordneten Spiegel mit streifendem oder berührendem Einfall besitzt, die bezüglich der Eingangsstrahlenbündel unter ausreichend kleinen Streif- oder Berührwinkeln angeordnet sind, damit die Röntgenstrahlen jedes Eingangsbündels total extern durch die Spiegel reflektiert werden, daß die Anordnung aus Spiegeln mit streifendem oder berührendem Einfall eine Vielzahl von Ausgangsröntgenstrahlenbündeln erzeugt, welche am Ausgang der Collimationsvorrichtung voneinander in Abstand verlaufen und welche von dem Ausgang der Collimationsvorrichtung in praktisch paralleler Beziehung zueinander in Richtung auf die Maske projiziert werden, daß jedes Ausgangsbündel eine schmale Divergenz aufweist, die bewirkt

- 2 -

130009/0657

daß die Lücke zwischen den Ausgangsstrahlenbündeln mit wachsender Entfernung von der Collimationsvorrichtung abnimmt, so daß die Ausgangsstrahlenbündel in ein einziges zusammengesetztes Bündel von Röntgenstrahlen mit vergleichsweise großer Querschnittsfläche in einer von der Collimationsvorrichtung in Abstand angeordneten Ebene übergehen, in der annähernd die Maske zur Bestrahlung durch das zusammengesetzte Bündel aus Röntgenstrahlen angeordnet ist.

2. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Anordnung von Spiegeln für jedes Eingangsstrahlenbündel zumindest zwei rechtwinkelig zueinander versetzte Spiegel besitzt, und bewirkt, daß jedes Eingangsstrahlenbündel in zwei zueinander senkrechten Ebenen durch aufeinanderfolgende Reflexionen des genannten Eingangsstrahlenbündels durch die zwei Spiegel collimiert wird.
3. System nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Anordnung von Spiegeln mit streifendem oder berührendem Einfall aus einer ersten Gruppe von horizontal angeordneten Spiegeln und einer zweiten benachbart zur ersten Gruppe von Spiegeln angeordneten Gruppe von vertikal angeordneten Spiegeln besteht, wobei beide Gruppen hintereinander angeordnet sind, so daß von einem Spiegel in einer der beiden Gruppen reflektierte Röntgenstrahlen danach durch einen anderen Spiegel in der anderen der beiden Gruppen reflektiert werden.
4. System nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Spiegel aus einem Translationsparaboloid besteht, welches mit Röntgenstrahlen von einer in einem Punkt längs der Brennpunktlinie des genannten Spiegels angeordneten Quelle unter streifendem (Grazing) Einfall bestrahlt wird.
5. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in die Wege der Ausgangsstrahlenbündel zur Einstellung oder Korrektur der räumlichen Uniformität des zusammengesetzten Strahlenbündels Filtervorrichtungen eingefügt sind.

3001059

8067/02/K/Gr

- 3 -

10. Januar 1980

6. System nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß eine Aperturplatte zwischen die Collimationsvorrichtung und die Maske in den Wegen der Ausgangsstrahlenbündel eingesetzt ist, wobei die Filtervorrichtungen aus einer Vielzahl von in der Aperturplatte angebrachten Filter bestehen.
7. System nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Filtervorrichtungen unterschiedliche Intensitätswerte an unterschiedlichen Querschnittsteilen des zusammengesetzten Strahlenbündels erzeugt, um eine unterschiedliche Belichtung von unterschiedlichen Teilen des fotoempfindlichen Plättchens zu bewirken.
8. System nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Filtervorrichtung einheitliche Intensitätswerte über alle Querschnittsteile des zusammengesetzten Bündels erzeugen, so daß eine gleichmäßige Belichtung aller Teile des fotoempfindlichen Plättchens bewirkt wird.
9. System nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Filtervorrichtungen das Spektrum jedes Ausgangsstrahlenbündels einstellen oder korrigieren.
10. System nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Ausgangsstrahlenbündel einen Querschnitt von annähernd 2 mm x 2 mm am Ausgang der Collimationsvorrichtung aufweist.
11. System nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Ausgangsstrahlenbündel eine Strahlendivergenz von annähernd 9 Bogenminuten aufweist.
12. System nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Mitte-Mitte-Abstand der Ausgangsstrahlenbündel am Ausgang der Collimationsvorrichtung etwa 4 mm beträgt und daß die Maske in einem Abstand von etwa 40 cm vom Ausgang der Collimationsvorrichtung angeordnet ist.

- 4 -

130009/0657

BAD ORIGINAL

3001059

8067/02/ K/Gr

- 4 -

10. Januar 1980

13. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Aperturplatte zwischen die Röntgenstrahlenquelle und die Collimationsvorrichtung in den Wegen der Eingangsstrahlenbündel angeordnet ist und daß eine Mehrzahl von Filtern in der Aperturplatte befestigt ist.

- 5 -

130009/0657

130009/0657

3001059

Dipl.-Ing.  
**Rolf Charrier**  
Patentanwalt

- 5 -

Rehlingenstraße 8 · Postfach 260  
D-8900 Augsburg 31  
Telefon 08 21/3 60 15+3 60 16  
Telex 53 3 275  
Postscheckkonto: München Nr. 1547 89-801

8067/02/K/Gr

Augsburg, 10. Januar 1980

American Science and Engineering, Inc.  
955 Massachusetts Avenue  
Cambridge, Massachusetts 02139 /U.S.A.

Röntgenstrahlenlithographiesystem mit einer Collimations-  
Optik

Zusammenfassend betrifft die Erfindung ein Röntgenstrahlenlithographiesystem zur Erzeugung von integrierten oder mikroelektronischen Schaltungen, bei dem eine Maske mit einzelnen Schaltungsmustern vorgesehen ist, die mittels weicher oder langwelliger Röntgenstrahlen auf ein mit einem fotoempfindlichen Material bedecktes Plättchen abgebildet werden, um die Maskenmuster wiederzugeben; es ist eine in Abstand von der Maske angeordnete Röntgenstrahlenquelle vorgesehen, welche eine Vielzahl von Eingangsstrahlenbündeln erzeugt, die mittels einer Anordnung von Spiegeln mit streifendem (Grazing) Einfall praktisch collimiert oder parallelisiert werden, um eine Vielzahl von Ausgangsröntgenstrahlenbündeln zu erzeugen, welche am Ausgang des Collimators voneinander in Abstand verlaufen und in praktisch paralleler Beziehung zueinander auf die Maske projiziert werden. Jedes Ausgangsstrahlenbündel besitzt eine geringe Divergenz, welche bewirkt, daß mehrere Ausgangsstrahlenbündel in ein einziges zusammengesetztes Röntgenstrahlenbündel mit einem verhältnismäßig großen Querschnitt in einer Ebene übergehen, welche in Abstand von dem Collimator angeordnet ist. Die Maske ist annähernd in der genannten Ebene zur Be-

13000<sup>6</sup>9/0657

BAD ORIGINAL

strahlung durch das zusammengesetzte Röntgenstrahlenbündel angeordnet. Vorzugsweise im Bereich zwischen der Maske und dem Collimator sind Filter zur Korrektur oder Einstellung der spatialen oder räumlichen Gleichförmigkeit und des Spektrums des zusammengesetzten Strahlenbündels vorgesehen.

Näher betrachtet bezieht sich die Erfindung auf ein verbessertes Röntgenstrahlenlithographiesystem, welches dazu geeignet ist, Submikronmaskenmuster durch Nahfokussierung von weichen oder langwelligen Röntgenstrahlen auf ein fotoempfindliches Material abzubilden, um mikroelektronische Schaltungen zu erzeugen. Insbesondere betrifft die Erfindung ein derartiges System, welches zur Erzeugung von noch feiner unterteilten Mustern erzeugt werden können als es bisher mit lithographischen Verfahren möglich war, welche mit sichtbarem Licht arbeiten und in der Halbleiterindustrie häufig Verwendung finden. Die Erfindung ermöglicht eine noch höhere Packungsdichte für LSI-Schaltungen als es mit den bisher bereits verwendeten Röntgenstrahlenlithographiesystemen möglich war und zwar durch Reduzierung der Auswirkungen von geometrischer Verzerrung und ungleichförmiger Bestrahlung. Diese verbesserten Ergebnisse werden durch die Verwendung eines optischen Systems mit streifendem Einfall erzielt, welches praktisch collimierte Röntgenstrahlen erzeugt, die keine geometrischen Verzerrungen des Musters bewirken, welche sich bei uncollimierten Strahlen ergeben. Zusätzlich zu dieser Collimation ermöglicht es das System gemäß der Erfindung in vorteilhafter Weise, große Muster mit einer Fläche von mehreren qcm zu bestrahlen und zwar mit einer beachtlichen Gleichförmigkeit und einem hohen Wirkungsgrad. Das System kann sowohl bei einer Röntgenstrahlenschattenmikroskopie als auch für die Lithographie verwendet werden.

Die gegenwärtig in der Technik zur Herstellung von elektronischen und optischen Mikrobau-elementen verwendete Methode, bei der detaillierte Schaltungsmuster auf einer Maske auf ein Siliciumplättchen aufgestrahlt werden, das mit einem fotoempfindlichen Material bedeckt ist, besteht darin eine Strahlungsquelle mit sicht-

barem oder ultraviolettem Licht (in der Größenordnung von 4000 Angström Wellenlänge) zu verwenden. Bei bekannten Lithographiesystemen werden normalerweise zwei Verfahren verwendet, nämlich einmal der Nahbereichdruck und zum anderen ein Projektionsdrucker. Die bei handelsüblichen Systemen erzielbare minimale - oder Linienbreite liegt in der Größenordnung von 2,5 bis 3,5  $\mu\text{m}$ , obgleich feinere Linien etwa mit 0,7  $\mu\text{m}$  mit Laboranordnungen erreicht worden sind. Der Fortschritt in der Technologie der integrierten Schaltungen verlangt Schaltungen mit höherer Dichte, komplexere Strukturen mit mehr Elementen, feinere Linien und geringere Bauelementabstände. Beim Versuch, diese Anforderungen mit einer Lithographie mit sichtbarem Licht zu erfüllen, stößt man an fundamentale Grenzen, welche sich aus der Brechung ergeben und ebenso stellt man fest, daß die Kosten beträchtlich ansteigen.

Als Submikrometer-Lithographietechnik ist die Röntgenstrahlen-Lithographie vorgeschlagen worden, bei der die Strahlung mit sichtbarem oder ultraviolettem Licht durch weiche Röntgenstrahlen ersetzt wird. Es ergibt sich eine hohe Ausbeute und ein verhältnismäßig kostengünstiges System. Derartige Röntgenstrahlen-Lithographiesysteme befinden sich heute im Versuchsstadium. Röntgenstrahlen mit einer Wellenlänge von 4 bis 50 Angström werden dazu verwendet, Abbilder von Goldmaschenmustern oder mittels Elektronenstrahl erzeugten Masken auf fotoempfindlichen Stoffen herzustellen. Verschiedene Bestrahlungsmöglichkeiten wurden bei diesen Versuchsanordnungen verwendet.

Will man bei einem Röntgenstrahlen-Lithographiesystem beste Resultate erzielen, dann ist es wünschenswert, ein collimiertes oder parallelisiertes Bündel von Röntgenstrahlen zu verwenden, um ein geometrisches Verbreitern und Verzerrungen zu vermeiden, welche auftreten würden, wenn Strahlen durch die Maske nicht senkrecht verlaufen, sondern geneigten Wegen in Richtung zum fotoempfindlichen Material auf dem Plättchen hin folgen. Die üblichste Vorgehensweise, eine derartige Collimation zu erreichen, besteht darin, eine räum-



lich kleine allgemein übliche Röntgenstrahlenquelle (z.B. Elektronenstrahl/Anode) in einem verhältnismäßig großen Abstand von der Maske und dem Plättchen anzuordnen, wobei der Quellenabstand derart groß bemessen wird (z.B. 50 cm) um eine teilweise Collimation zu erreichen. Bei derartigen Anordnungen wird der Abstand zwischen Maske und Plättchen sehr klein gewählt (z.B. 40  $\mu\text{m}$ ). Es wurden Strich- oder Linienbreiten von 0,16  $\mu\text{m}$  erreicht, jedoch sind die üblichen Strich- oder Linienbreiten in der Größenordnung von 1  $\mu\text{m}$  über einem Plättchen mit einem Durchmesser von mehreren cm.

Die zuvor beschriebenen Systeme sind verhältnismäßig ineffizient, da eine gute Collimation einen vergleichsweise großen Abstand zwischen Quelle und Maske verlangt. Da die Flußdichte an der Maske mit dem Quadrat der Entfernungsquelle zur Maske abnimmt, wird nur ein sehr kleiner Bruchteil der Quellenausgangsleistung tatsächlich verwendet.

Es sind andere Arten von derartigen Systemen vorgeschlagen worden, bei denen versucht wird, die geometrische Streuung sowie Verzerrungseffekte zu vermeiden. Hierzu wird bei einem alternativen System eine Kontaktfokussierung verwendet, welche eine gute Auflösung über mehrere cm bei einer ausgedehnten (und damit Hochleistungs) -Quelle ermöglicht. Derartige Kontaktfokussiersysteme, welche gegenwärtig im Laboratorium angewandt werden, sind aller Voraussicht nach für die fabrikmäßige Herstellung aufgrund der Maskenbeschädigung nicht geeignet.

Bei einem anderen System wurde vorgeschlagen, anstelle der üblichen Röntgenstrahlenquelle eine andere, nicht übliche Quelle zu verwenden, etwa ein gepulstes Laserplasma. Der Vorteil einer derartigen Quelle besteht darin, daß die Belichtungszeit unter Ausnutzung des von einer derartigen Quelle angebotenen Flusses und des dazugehörigen Spektrums reduziert werden kann. Das Collimationsproblem ist jedoch das gleiche wie bei einer üblichen Quelle und ein paralleles Strahlenbündel kann nur in einem erheblichen Abstand von der Quelle und unter Verzicht auf eine entsprechende Flußdichte erzielt werden.

Bei einem anderen Vorschlag wird eine Synchrotronstrahlung verwendet. Eine derartige Strahlung ist intensiv collimiert und besitzt ein vorteilhaftes kontinuierliches Spektrum. Ein wesentlicher Nachteil dieses Vorschlages ist es jedoch, daß verhältnismäßig hohe Kapitalkosten für eine Synchrotronanlage erforderlich sind; die hohen Investitionskosten haben dazu geführt, daß es nur wenige Synchrotronanlagen gibt, so daß ein Mikroelektroniker gezwungen wäre, eine Anlage mit anderen Verwendern einschließlich Wettbewerbern zu teilen. Ein weiterer Nachteil von Synchrotronquellen besteht in der nicht gleichförmigen Ausleuchtung in dem Strahlenbündel, wodurch die Fläche begrenzt wird, welche mit optimaler Belichtung bedruckt werden kann.

Die vorliegende Erfindung will diese Nachteile des Standes der Technik vermeiden und bringt ein Röntgenstrahlenlithographiesystem, welches verhältnismäßig kostengünstig ist und dennoch die Herstellung feinerer Strichmuster und integrierter Schaltungen mit höherer Dichte ermöglicht als es mit den bisherigen Lithographiesystemen auf Basis von sichtbarem/ultraviolettem Licht und/oder Röntgenstrahlen der Fall war.

Das erfindungsgemäße Röntgenstrahlenlithographiesystem erzeugt ein Bündel von praktisch collimierten Röntgenstrahlen mit einem verhältnismäßig großen Querschnitt in der Position einer Maske, und zwar durch Verwendung einer Röntgenstrahlenquelle, welche näher an der Maske angeordnet ist als dies bisher der Fall war, wobei die gewünschte Collimierung durch Einfügen einer Anordnung von Spiegeln mit streifendem Einfall zwischen der Quelle und der Maske erzielt wird, wodurch die weichen Röntgenstrahlen von der Quelle annähernd collimiert werden. Die Quelle erzeugt eine Vielzahl von Eingangsstrahlenbündeln, welche auf den Collimator der vorliegenden Erfindung unter genügend kleinen streifenden Einfallswinkeln gerichtet werden, wodurch erreicht wird, daß die Röntgenstrahlen in jedem Eingangswinkel total extern durch die Spiegel reflektiert werden. Bei bestimmten Anwendungen der vorliegenden Erfindung etwa dann, wenn eindimensionale Gitter hergestellt werden sollen, bringt bereits eine einzige Gruppe

von Spiegeln welche in einer Ebene collimieren, annehmbare Ergebnisse. Wo jedoch die Collimation in zwei Ebenen erwünscht oder notwendig ist, besteht die Spiegelanordnung für jedes Eingangsstrahlenbündel aus zumindest zwei Spiegeln, welche senkrecht zueinander angeordnet sind und jedes Eingangsstrahlenbündel in zwei zueinander senkrechten Ebenen durch aufeinanderfolgende Reflexionen des Eingangsstrahlenbündels durch die zwei Spiegel collimiert.

Die Anordnung von Spiegeln mit streifendem Einfall erzeugt eine Vielzahl von Ausgangsröntgenstrahlenbündeln, welche am Ausgang des Collimators in Abstand voneinander verlaufen und die in annähernd paralleler Beziehung zueinander in Richtung der Maske projiziert werden. Jedes Ausgangsstrahlenbündel besitzt eine geringfügige Divergenz (in der Größenordnung von wenigen Bogenminuten,) so daß die zwischen den Ausgangsstrahlenbündeln vorhandenen Lücken mit wachsendem Abstand vom Ausgang des Collimators abnehmen. Die geringfügige Divergenz der Ausgangsstrahlenbündel bewirkt, daß diese zu einem zusammengesetzten Röntgenstrahlenbündel mit einer verhältnismäßig großen Querschnittsfläche zusammenfließen und zwar in einer Ebene, welche von dem Collimator in Abstand angeordnet ist, wobei die Maske annähernd in dieser Ebene zur Ausleuchtung durch das vereinigte zusammengesetzte Röntgenstrahlenbündel sich befindet.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist eine Apertur- oder Lochplatte zwischen den Collimator und der Maske in den Wegen der Ausgangsstrahlenbündel angeordnet, wobei eine Vielzahl von Filtern auf der Aperturplatte angebracht ist, welche die räumliche Gleichförmigkeit der Ausgangsstrahlenbündel sowie das Spektrum jedes Ausgangsstrahlenbündels einstellt oder korrigiert. Die Filter sollten vorzugsweise zwischen dem Collimator und der Maske zur Ausschaltung von Streueffekten angeordnet sein. Die Filtervorrichtungen können so angeordnet werden, daß sie entweder eine praktisch konstante Beleuchtung über die Querschnittsfläche des zusammengesetzten Strahlenbündels in der Maskenposition erzeugen, oder aber derart, daß an verschiedenen Querschnittsstellen des zusammen-

gesetzten Strahlenbündels unterschiedliche Intensitätswerte vorliegen, so daß unterschiedliche Belichtungen an unterschiedlichen Stellen des fotoempfindlichen Plättchens hervorgerufen werden.

Die Verwendung von Spiegeln mit streifendem Einfall wurde bisher für vollkommen andere Anwendungsfälle bereits verwendet, etwa in Verbindung mit Röntgenstrahlenteleskopen, wobei die Arbeitsrichtung gerade umgekehrt zu derjenigen bei der vorliegenden Erfindung ist, d.h. daß collimierte Röntgenstrahlen von einer kleinen in erheblichem Abstand angeordneten Quellen zu einem Brennpunkt geleitet werden. Derartige optische Systeme wurden auch für die Verwendung in Abbildungssystemen vorgeschlagen, etwa Röntgenstrahlenmikroskopen. Der Aufbau derartiger Optiken und die verschiedenen Systeme, in denen derartige Optiken bisher verwendet wurden, sind beispielsweise diskutiert in L.P. VanSpeybroeck, R.C. Chase, und T.F. Zehn-pfennig, "Orthogonal Mirror Telescopes for X-ray Astronomy", Applied Optics, Bd. 10, S. 945, April 1971; P.Gorenstein, H.Gursky, F.R. Harnden, Jr., A.DeCaprio, und P. Bjorkholm "Large Area Soft X-ray Imaging System for Cosmic X-ray Studies from Rockets", Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Nuclear Science, Bd. NS-22, 1975; F.D. Seward und T.M. Palmieri, "A simple X-ray Microscope for Photographing Laser Produced Plasmas", Review of Scientific Instruments, Bd. 46, S. 204, Februar 1975; J.H. Underwood und D. Turner, "Bent Glass Optics", Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, Bd. 106, S. 125, April 1977; und Eugene W.C. Huang, R.E. Cabral, R.E. Brisette, "A Method of Obtaining a Parabolic Reflecting Surface from Thin Float Glass Plate and its Application to the LAMAR X-ray Telescope", Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, Bd. 184, Mai 1979. Eine Röntgenstrahlenoptik mit zueinander senkrechten Spiegeln als Collimator ist bisher für die Verwendung in Verbindung mit Röntgenstrahlen - Lithographiesystemen nicht vorgeschlagen worden, welche zur Herstellung von mikroelektronischen Schaltungen geeignet sind. Ein Lithographiesystem, welches eine derartige Optik verwendet, stellt eine bedeutende Verbesserung gegenüber den bisher verwendeten Lithographiesystemen dar.

Die vorgenannten Ziele, Vorteile und der Aufbau und die Wirkungsweise der vorliegenden Erfindung ergibt sich im Einzelnen aus der nachfolgenden Beschreibung anhand der Zeichnung. Es zeigen

Fig. 1 eine schematische Darstellung zweier zueinander senkrechter Spiegel mit streifendem Einfall wie sie bei einem Röntgenstrahlenlithographiesystem gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet werden können und

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Röntgenstrahlenlithographiesystems, welches gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist und eine Anordnung von Spiegeln mit streifendem Einfall verwendet, um eine Gruppe von annähernd collimierten Röntgenstrahlenbündeln zu erzeugen, welche eine lithographische Maske und ein fotoempfindliches Plättchen beleuchten.

Das Röntgenstrahlenlithographiesystem gemäß der Erfindung verwendet wie vorstehend beschrieben eine Anordnung von Spiegeln mit streifendem Einfall, welche weiche Röntgenstrahlen von einer Quelle annähernd collimiert. Die Wirkungsweise einer derartigen Collimationsvorrichtung hängt von der Tatsache ab, daß bei Wellenlängen von weichen Röntgenstrahlen der reelle Teil des Brechungsindex kleiner als 1 ist, so daß Strahlen, die eine glatte Oberfläche unter einem genügend kleinen Winkel mit streifendem Einfall total extern reflektiert werden. So erzeugt ein Spiegel in Form eines Translationsparaboloids, der unter streifendem Einfall mit Röntgenstrahlen von einer an einem Punkt seiner Brennpunktlinie angeordneten Quelle ein Strahlenbündel, welches in einer Richtung collimiert ist. Ein derartiges nur in einer Ebene collimiertes Strahlenbündel ist für manche Anwendungsfälle der vorliegenden Erfindung wie zuvor angegeben durchaus zweckmäßig. Ablenkungsfehler begrenzen jedoch die Funktion eines einzigen Spiegels mit streifendem Einfall, so daß noch ein zweiter Spiegel senkrecht zum ersten Verwendung findet, welcher derartige

Ablenkungsfehler auf einen annehmbaren Wert reduziert.

Die Arbeitsweise eines Zweispiegel-Systems ist in Fig. 1 schematisch dargestellt. Die beiden Spiegel sind mit 10 bzw. 11 bezeichnet und sind fast ebene Spiegel, welche hintereinander angeordnet sind, so daß einfallende Röntgenstrahlen z.B. 12 die Oberfläche des Spiegels 10 unter einem genügend kleinen Winkel mit streifendem Einfall treffen und von dem Spiegel 10 reflektiert werden, so daß sich eine vertikale Collimation ergibt, worauf die vertikal collimierten Strahlen von der Oberfläche des Spiegels 11 reflektiert werden, so daß eine horizontale Collimation der Strahlen auftritt. Die Spiegel sind als dünne glatte Platten aus ursprünglich flachem Glas hergestellt, die unter Anwendung von berechneten Kräftepaaren zu annähernden Translationsparaboloiden gebogen wurden. Die physikalische Abmessung der Optik ist dehnbar. Bei Verwendung in einem Röntgenstrahlenlithographiesystem der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wie es nachstehend unter Bezugnahme auf Fig. 2 beschrieben wird, sind die Spiegel 10, 11 etwa 5 bis 10 cm lang, 1 bis 3 cm breit und 0,1 cm dick. Die Brennweite beträgt 10 bis 30 cm. Diese Dimensionsangaben sind jedoch lediglich beispielhaft und es besteht die Möglichkeit, die Größe der Glasteile in ihren Abmessungen erheblich zu verändern, damit sie für eine gegebene Anwendung passen.

Ein Spiegelpaar erzeugt ein collimiertes Strahlenbündel mit einem kleinen Querschnitt in der Größenordnung von 2 mm x 2 mm. Eine Anordnung von Spiegelpaaren beispielsweise von zwei Vertikalcollimatoren und zwei Horizontalcollimatoren erzeugt eine Anordnung von fokussierten Strahlenbündeln. Bei dem in Fig. 2 dargestellten System werden vier derartige Strahlenbündel verwendet, wie sich aus dem Nachstehenden noch ergibt.

Ein vollkommen collimiertes Röntgenstrahlenbündel würde sich durch eine Anordnung von idealen Spiegeln ergeben, welche von einer Punktquelle beleuchtet werden. In der Praxis ist jedoch eine derartige vollkommene Collimation weder erreichbar noch für eine

gute Röntgenstrahlenlithographie erforderlich. Soll beispielsweise eine transparente Stelle von ein  $\mu\text{m}$  in einer Maske lithographisch abgebildet werden, dann ist eine 0,1  $\mu\text{m}$  Streuung in dem Beleuchtungsmuster infolge unvollkommener Collimation akzeptabel. Bei einer typischen Entfernung von 40  $\mu\text{m}$  zwischen der Maske und dem fotoempfindlichen Material entspricht dieser Steuungswert einer Strahlenbündeldivergenz von 9 Bogenminuten, wenn man andere Streuungsursachen außer Acht läßt. Eine derartige Strahlenbündeldivergenz liegt ohne weiteres in den Möglichkeiten der bei der Erfindung verwendeten Optik mit streifendem Einfall. Für kleinere Strich- oder Liniendicken ist auch eine bessere Collimation möglich.

Eines der Merkmale der vorliegenden Erfindung, welches deutlich aus Fig. 2 hervorgeht, besteht darin, daß beinahe collimierte Strahlenbündel verwendet werden können, um ein einziges großes Belichtungsmuster zu erzeugen. Wenn die aus einer Anordnung von zueinander senkrechten Spiegelpaaren bestehende Collimationsvorrichtung derart eingestellt wird, daß sie eine Anordnung von Ausgangsstrahlenbündeln erzeugt, welche jeweils eine geringe Divergenz aufweisen, dann ergibt sich mit wachsender Entfernung von der Collimationsvorrichtung ein Ausbreiten der einzelnen Strahlenbündel. Der Abstand zwischen den Mittellinien benachbarter Strahlenbündel ändert sich nicht, wenn die Spiegeleinheiten derart angeordnet werden, daß ihre optischen Achsen parallel verlaufen. In einigem Abstand von dem Collimator wird die Lücke zwischen benachbarten Strahlenbündeln zu 0 und die Anordnung von Strahlenbündeln fließt an einem Punkt zusammen und bildet ein einziges zusammengesetztes Strahlenbündel. Sind eine lithographische Maske und ein fotoempfindliches Plättchen in der Ebene des Zusammenfließens angeordnet, dann werden diese mit einem Röntgenstrahlenbündel mit großem Querschnitt und kleiner Divergenz bestrahlt, so daß jeder Punkt auf der Maske belichtet wird. Ist beispielsweise die Strahlenbündeldivergenz 9 Bogenminuten und jedes Strahlenbündel 2 mm x 2 mm im Querschnitt in der Ebene der Collimationsvorrichtungen und ist der Mitte-Mitte-Abstand der Strahlenbündel 4 mm, dann fließen die verschiedenen Strahlenbündel in einem Abstand von etwa 40 cm von dem Ausgang der Collimationsvorrichtung zusammen.

Die vorstehenden Überlegungen werden deutlicher, wenn auf das schematische Diagramm des Systems nach Fig. 2 Bezug genommen wird. Das System besteht aus einer üblichen räumlich kleinen Röntgenstrahlenquelle 14, welche eine Strahlung in Form einer Vielzahl von Eingangsstrahlenbündeln 15a bis 15d abgibt. Die Veranschaulichung von vier Eingangsstrahlenbündeln in Fig. 2 ist natürlich lediglich beispielhaft. Mehrere Strahlenbündel werden entsprechend auf zugeordnete vertikale Collimatoren geleitet, welche aus Spiegeln 16a bis 16d bestehen, von denen jeder ein Spiegel von der in Fig. 1 mit 10 bezeichneten Art ist; die von den Spiegeln 16a bis 16d reflektierten Strahlen werden dann durch horizontale Collimationsspiegel 17 reflektiert, welche aus einer Anordnung von Spiegeln besteht, die senkrecht zu den Spiegeln 16a bis 16d angeordnet sind und die jeweils dem Spiegel 11 gemäß Fig. 1 entsprechen. Die Strahlen von der Quelle 14 werden somit zweimal reflektiert, wobei einmal eine annähernde Collimation in vertikaler Richtung und zum anderen eine solche in horizontaler Richtung auftritt, so daß am Ausgang der Collimationsvorrichtung mehrere Ausgangsstrahlenbündel 18a bis 18d erzeugt werden.

Diese mehreren Ausgangsstrahlenbündel durchlaufen eine Apertur- oder Lochplatte 19, welche unerwünschte Strahlen abschirmt, und welche Filter 20 trägt, mittels denen die Intensität und das Spektrum jedes Ausgangsstrahlenbündels eingestellt wird. Die Filter 20 können die Form dünner Filme oder Folien haben, welche an den Eingängen oder Ausgängen der Öffnungen der Zellen in der Aperturplatte 19 angeordnet sind; diese Filter steuern durch individuelle Filterung jeder Spiegeleinheit die Gleichförmigkeit der erzeugten Beleuchtung. Diese Technik kann dazu verwendet werden, Differenzen zwischen den Einheiten möglichst klein zu machen oder absichtlich ungleichförmige Zustände zu schaffen, wenn unterschiedliche Belichtungen an unterschiedlichen Teilen des fotoempfindlichen Plättchens gewünscht werden.

Wie zuvor erwähnt und in gebrochenen Linien in Fig. 2 gezeigt, besitzen die Ausgangsstrahlenbündel 18a bis 18d jeweils eine gering-



fügte Divergenz, welche eine Verbreiterung der Strahlenbündel mit sich bringt, wenn diese sich von der Collimator-Optik weg bewegen, so daß die Ausgangsstrahlenbündel in einer bestimmten Ebene zu einem einzigen gleichförmigen Beleuchtungsstrahlenbündel zusammenfließen. In dieser Ebene sind eine lithographische Maske 21 und ein fotoempfindliches Plättchen 22 angeordnet und werden mit den nahezu collimierten Röntgenstrahlen beleuchtet, die von der Vorrichtung erzeugt werden.

Typische Abmessungen für die Collimationsspiegel, den Querschnitt der Ausgangsstrahlenbündel, des Abstandes und der Divergenz sowie der Entfernung zwischen dem Ausgang der Collimationsvorrichtung und der Ebene, in der sich die Masken/Plättchen-Kombination befindet, wurden bereits vorstehend genannt und sind auf die Anordnung der Fig. 2 anwendbar.

Das Collimationssystem gemäß Fig. 2 ist geometrisch wirksamer als die bisherigen Röntgenstrahlen-Lithographiesysteme, bei denen versucht wird, die Collimation der Röntgenstrahlung durch entfernte Anordnung einer räumlich kleinen Röntgenstrahlenquelle und der lithographischen Maske zu erzielen. Bei einem derartigen System erfordert eine gute Collimation einen großen Quellen-zu-Masken-Abstand, beispielsweise nahezu 4 m um 9 Bogenminuten Divergenz über eine Fläche von 1 cm x 1 cm bei Verwendung einer Punktquelle zu erzielen; da wie vorstehend erwähnt, die Dichte des auf die Maske fallenden Flusses umgekehrt proportional zum Quadrat der Entfernung der Quelle zur Maske ist, gelangt nur ein sehr geringer Bruchteil der Quellenausgangsleistung bei den bekannten Systemen zur Verwendung. Im Gegensatz dazu kann die Collimationsvorrichtung gemäß Fig. 2 sehr nahe an der Quelle angeordnet sein (z.B. 10 bis 20 cm) und der Fluß an ihrem Eingang ist deshalb viel größer als wenn eine lithographische Maske 4 m entfernt angeordnet wäre. Es treten selbstverständlich infolge der endlichen Spiegeldicke und anderen Effekten Verluste in den Collimationsmitteln auf; es ergeben sich ferner Verluste während die Strahlen collimiert werden und zwar infolge unvollständiger Reflexions- und Spiegeloberflächen. Die Größe dieser

Verluste hängt von den Einzelheiten des Collimatoraufbaus und dessen Herstellung ab. Die Erfahrung und vorläufigen Berechnungen zeigen jedoch, daß diese Verluste wesentlich weniger Gewicht haben als der geometrische Vorteil, den das erfindungsgemäße Collimationssystem mit sich bringt.

Masken und Filter, beispielsweise Filter wie sie in Fig. 2 veranschaulicht sind, können zur Korrektur von Differenzen zwischen den einzelnen Spiegeln verwendet werden. Einige dieser Differenzen sind systematisch. So ist beispielsweise der Winkel des streifenden Einfalls für Spiegel größer, welche weiter von der Achse angeordnet sind; dies bedingt systematische Änderungen in der Reflexionsausbeute und der projizierten Stirnfläche in Richtung zu den äußeren Spiegeleinheiten hin. Andere Differenzen zwischen den Spiegeln sind eher zufällig, z. B. treten sie infolge von Variationen in den Glaseigenschaften auf. Derartige zufällige Differenzen können durch entsprechende Glasauswahl und durch Feinabstimmung der angelegten Kräfte ausgeglichen werden. Bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung sind die Aperturplatte und/oder die Filter wie veranschaulicht angeordnet, d.h. zwischen dem Collimator und der lithographischen Maske 21. Es ist jedoch auch möglich, die Aperturplatte und/oder die Filter zwischen die Röntgenstrahlenquelle 14 und die Collimationsoptik einzusetzen. Letztere Anordnung erscheint jedoch weniger wünschenswert, da die Aperturplatte nicht Streustrahlen infolge Oberflächenunregelmäßigkeiten im Glase des Spiegels abblockt, obwohl sie Strahlen nicht durchläßt, die nicht zurückprallen oder einmal zurückgeprallt sind.

Während ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel beschrieben wurde, sind für den Fachmann vielerlei Variationen möglich. Es ist deshalb die vorstehende Beschreibung als beispielhaft anzusehen und soll nicht die Erfindung beschränken. Alle derartige Variationen und Modifikationen im Einklang mit dem Erfindungsgedanken sollen unter den Schutzzumfang der beigefügten Patentansprüche fallen.

- 18 -  
Leerseite

3001059

- 19 -

8067/02

Nummer:

30 01 059

Int. Cl. 2:

G 21 K 1/02

Anmeldetag:

12. Januar 1980

Offenlegungstag:

26. Februar 1981

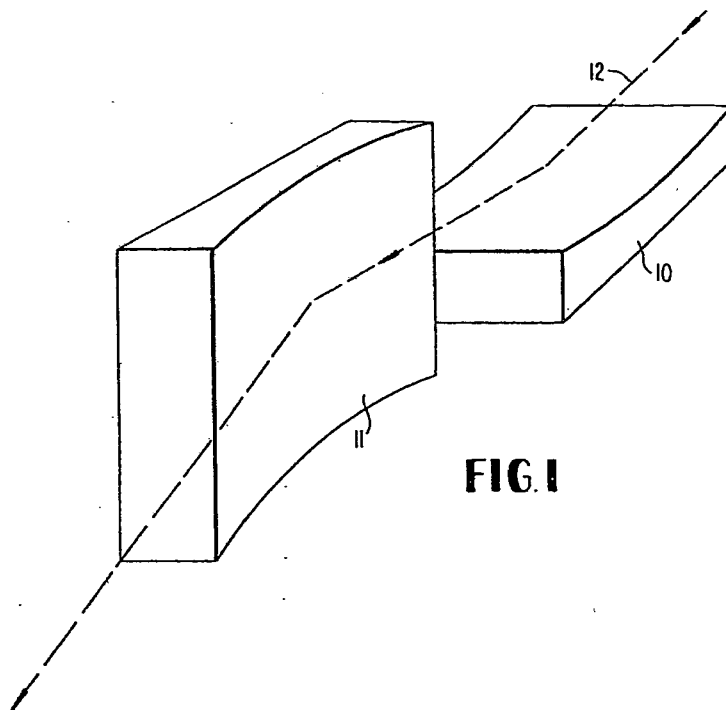


FIG. 1

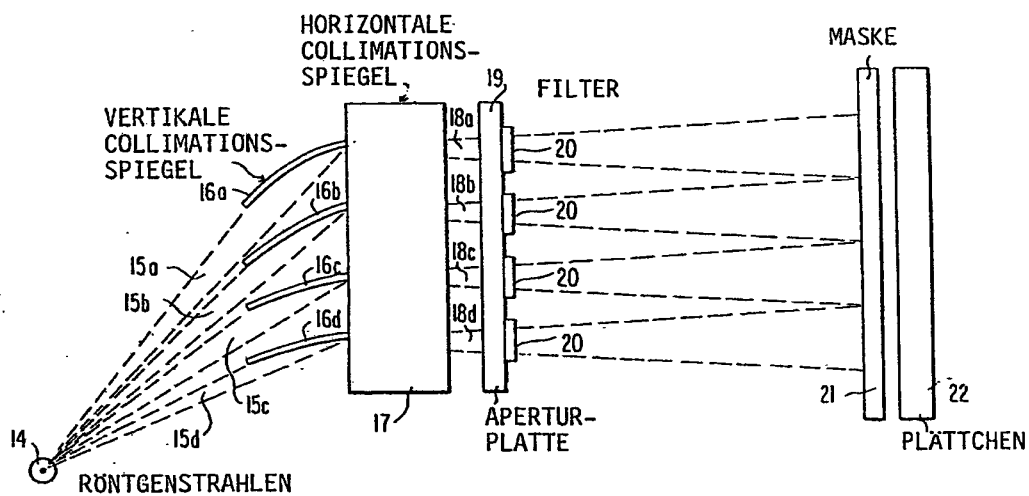


FIG. 2

130009/0657